

# 解説

## コンピュータグラフィクスによる立体表示

佐藤 宏介・谷内田正彦

大阪大学基礎工学部制御工学科 〒560 豊中市待兼山町 1-1

(1987年7月9日受理)

### 3-D Display by Computer Graphics

Kosuke SATO and Masahiko YACHIDA

Department of Control Engineering, Faculty of Engineering Science, Osaka University,  
1-1, Machikaneyama-cho, Toyonaka 560

#### 1. はじめに

日夜、仕事に研究に打ち込まれている読者の方々でも、疲れて家に帰れば、ホッと一息いれてテレビを見られることと思います。人によってはそれが「プロ野球ニュース」であったり、「ニュースセンター9時」かもしれない。さて、この二つの番組に共通するのは、どちらの番組もオープニングがかなり凝ったコンピュータグラフィクスの映像だということである。ちょっと古い映画だが、「ゴルゴ13」や「トロン」はコンピュータグラフィクスが映画化されたものとして有名である。ちょっと注意すればテレビコマーシャルやパンフレットのなかにもたくさん見つかることと思われる。これらのことからわかるとおり、コンピュータグラフィクスは本当に身近になってきた。

しかし、これらの立体を表現した映像は大型コンピュータやスーパーミニコン、また、ものによってはスーパーコンピュータを何日も使用しないと作れない。それほど、立体を表現するコンピュータグラフィクスは計算機パワーを要する作業といえる。計算機パワーに余裕のあるところは数少なく、当然コンピュータグラフィクスを実現できるところは限られていた。しかし、最近では、スーパーミニコンなみのパワーを持ったエンジニアリングワークステーションの価格がしだいに低下し、普及してきた。このためコンピュータグラフィクスは見るものから、研究者ひとりひとりが自分の研究目的にあったものを作る時代になってきたといえる。

本稿では、コンピュータグラフィクスを使ってもっと

自分の研究を視覚化してアピールしたいと思っている読者に、コンピュータグラフィクス、とくに立体の表示を中心に、その原理と応用分野について解説する。

#### 2. 何をコンピュータグラフィクスで立体表示するか

自然科学にとどまらず社会科学の分野でも、さまざまなデータが得られている。しかし、どんなデータでもコンピュータグラフィクスで一目瞭然にできると思うのは間違いだろう。データの形によって、コンピュータグラフィクスの立体表示に向いているものと向いていないものがある。以下に、その向いているほうのデータの形を示していこう。

##### 2.1 二次元データの立体表示

###### 2.1.1 データ

図1(a)のように  $f(x, y)$  として表わされるデータは、その値を高さとし、それらを滑らかにつなげてやれば、同図(d)のように立体として表現できる。データをたんなる二次元の数値列としてみるよりは、この立体表現のほうが、全体の分布や局所的な変化などが一目でわかる。身近な例だが、ストライプ模様や格子模様の水着を着た女性を見ると、その模様の歪みぐあいから、出るべきところの出ぐあい、引っ込むべきところの引っ込みぐあいが推測できる。人間はこのように規則的模様があると、その歪み具合から立体感を得ることができる。この図1(d)は、水平に広がっている二次元格子模様つまり網目を、上下に変形させたものとなっているが、これでも十分に立体感が感じられる。

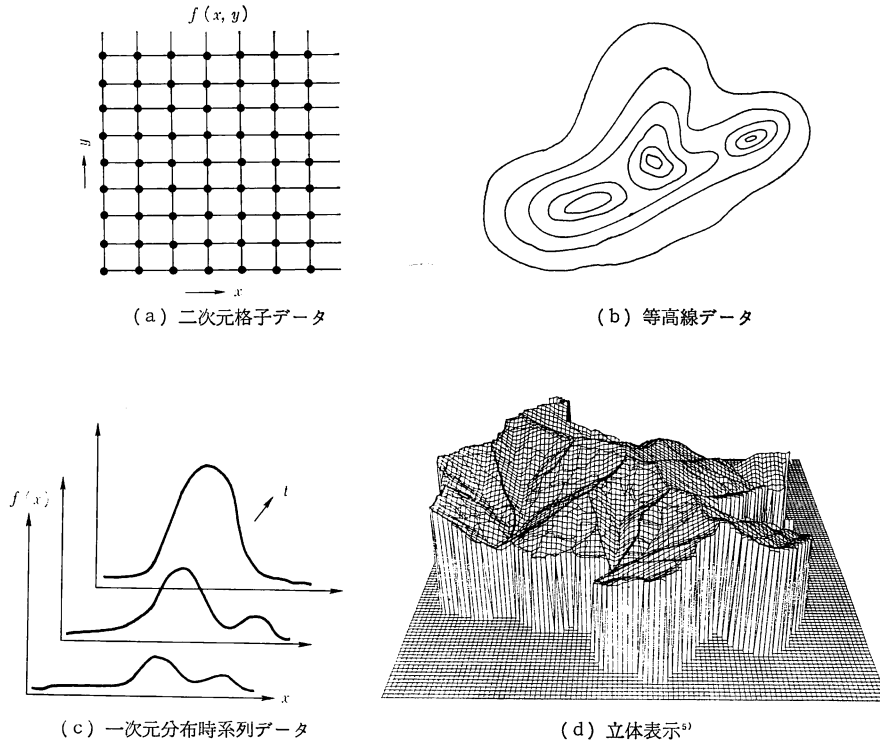


図 1 二次元データの立体表示

このような二次元格子データは一般的に得られるので、多くの分野で使われている。コンピュータグラフィクスが目立つ以前から、よくプロットを使って立体表示されていた。しかし、それはたんに網目模様の起伏だけに限られる。後で述べるように、コンピュータグラフィクスでは、なめらかな濃淡変化を付け、あたかも一つの物体が起伏しているようにも見せることができる。

さらに濃淡を付けるのみならず、色も自由に使い分けることができる。たとえば、ある一定値以上のデータに何か色を付けて、目立たせることも簡単にできる。ちょうど富士山の何合目から上が雪景色で白というようなものである。

### 2.1.2 等高線データ

富士山の話が出たが、たんに写真を見るだけでは面白くない。富士山もコンピュータグラフィクスで立体表示化できると、たとえば御殿場から、河口湖から、あるいは真上からといったぐあいに、自由気ままにどこからでも見ることができる。広角レンズかあるいは望遠レンズかの選択もプログラムでワンタッチでできる。

さて富士山のデータは、国土院の地形図でわかる。したがって、地形図の等高線を入力データとして扱

うことができれば好都合である。コンピュータグラフィクスでは、図 1 (b) のような等高線データを同図 (d) のように立体表示することもできる。コンピュータの内部では、等高線データをいったん前記の二次元格子データに変換して処理を行なう。このような等高線データは等電位線など他の分野でも見受けられる。

### 2.1.3 一次元分布時間推移データ

音声認識の分野では周波数分析が重要である。ある瞬間の周波数分布は横軸を周波数、縦軸を強さというような、一次元分布で表わされる。この周波数分布の時間推移を解析することにより音声の認識を行なうが、音声認識の研究者はこの周波数分布の時間推移を二次元分布と見なして判断している。すなわち、図 1 (c) に示すような一次元分布の系列集合を、同図 (d) のように立体的な二次元分布と見なす。この立体的な山や谷の形状から、研究者は視覚的に発生音を推測する。逆にいえば、周波数の数値よりもこのような立体図のほうが判断しやすい(この二次元分布を濃淡で表示したものがいわゆるソナグラム (sonagram) である)。

社会科学の分野では、人口の年齢分布の時代変化が用いられるが、これも一次元の時間推移データの一つとい

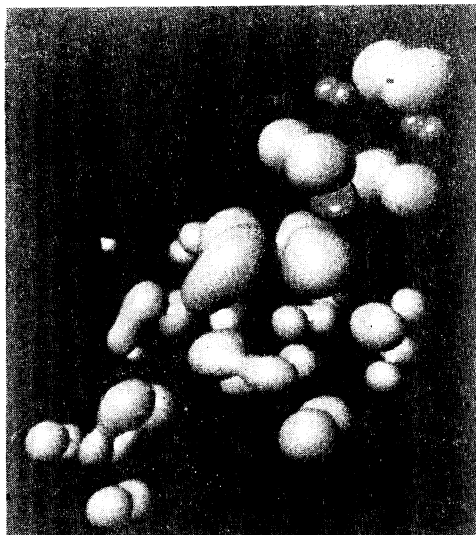
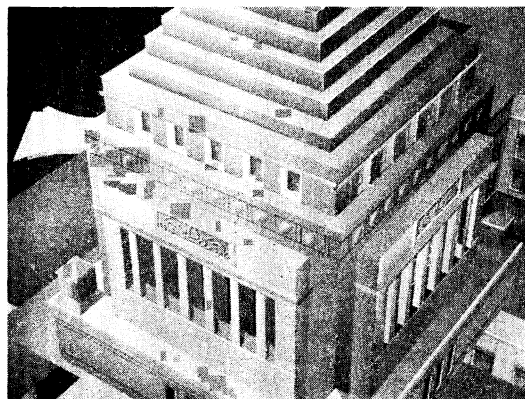
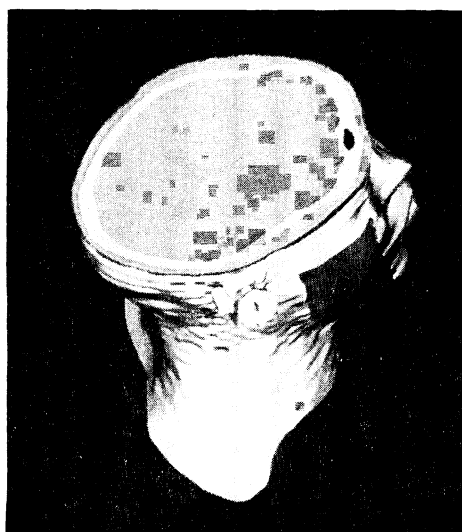
(a) 点データ<sup>1)</sup>(b) 面データ<sup>2)</sup>(c) ボクセルデータ<sup>3)</sup>

図 2 三次元データの立体表示

える。この立体図はまだ見たことがないが、立体表示することができれば、ベビーブームの再来とか丙午(ひのえうま)の影響とか、立体の尾根筋や谷筋としてダイナミックに、また視覚的に観察できると思われる。

## 2.2 三次元データの立体表示

### 2.2.1 三次元点データ

三次元データを三次元表示するのは当たり前のことだろう。三次元データを二次元の紙の上に表現しようとするのは難しい。地球を二次元図で表現するのに、数多くの図法がある。しかし、日本の裏側がアルゼンチンだということが、直感的にわかる地図はあまりない。

次に、化学の分子モデルを考えてみると、一つの分子は、おのおのの原子の三次元位置とその原子半径の集合で表現することができる。従来はプラモデルと同じように一つ一つのパーツを組み上げて模型を作っていた。

同じ作業を、コンピュータグラフィックスを使えば手を汚すことなく実現することができる。コンピュータグラフィックスでは、入り組んだ分子の内部構造を簡単にクローズアップすることもでき、さらに模型ではとても組み上げることができないような高分子化合物も表示することが可能となる。

図2(a)に分子を立体表示した例を示す。このような三次元の点データの他の例では、運動学の分野において、人間の関節を三次元の点と見なして人間を立体表示している例がある。

### 2.2.2 三次元面データ

工学の分野では、面データを用いて立体を表現するのが最も標準的である。とくにCAD/CAMではそうであり、図2(b)の建築景観図も平面データの組合せからなっている。

### 2.2.3 三次元ボクセルデータ

二次元画像は、それ自身を細かく格子状に分割したものの集合と表現することができる。これは画像を標本化したことになるが、その標本点を画素とかピクセル(Pixel: picture element)と呼ぶ。おのおのの画素はその地点での濃淡のレベルを値として持っている。2.1.1項で述べたデータ表現はこの表現方法を用いている。

同様に、三次元画像を、豆腐のさいの目切りのように細かく立体格子に分割できる。これを体素・ボクセル(Voxel: volume element)と呼ぶ。今のところ、 $f(x, y, z)$ で表わされるデータはそんなに種類はない。最も代表的なものとして、CT立体画像があげられる。これは人体を輪切りにしたCT画像を、わずかずつ位置をずらして集め、積み重ねたものである。このCT立体画像

は、すべての三次元位置で情報を持っているが、コンピュータグラフィクスで立体表示する場合、表面しか映像化できない欠点がある。ある断面をとるとか半透明処理をするなどして、内部をある程度視覚化できるが、あまりわかりやすいとはいえない。

図2(c)にCT立体画像を立体表示した例を示す。また三次元有限要素解析で得られた半導体の三次元温度の表示にも、同様な立体表示が試みられている。このような三次元画像はコンピュータによって初めて得られたものだが、処理すべきデータ量がきわめて膨大であるため、コンピュータグラフィクスで表示することは容易ではない。

### 3. 立体表示の技法のいろいろ

コンピュータグラフィクスで出力されるものは1枚の二次元の画像である。したがって、どんな形の三次元の

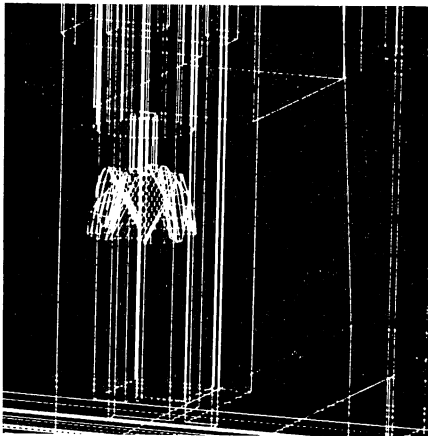
データでも、二次元の画像に写像し変換する必要がある。その際、たんに変換するのみでなく、人間のために立体感を得るための手掛かりを付加する必要がある。

その立体感の手掛かりとして、立体感の出し方、濃淡の付け方、色の付け方などいろいろな表現方法があり、ユーザーはその中から、最もユーザー自身の目的にふさわしいものを選択する必要がある。ここではそれら表現技法について簡単に説明しておこう。

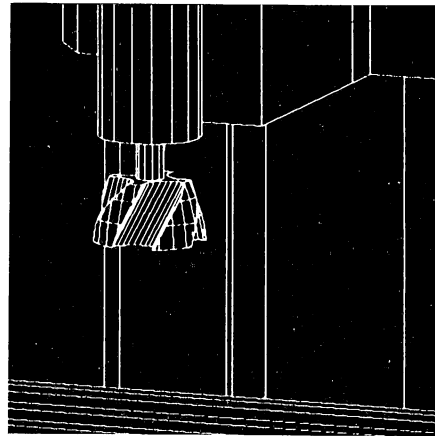
#### 3.1 立体感の出し方

##### 3.1.1 ワイヤフレーム表示

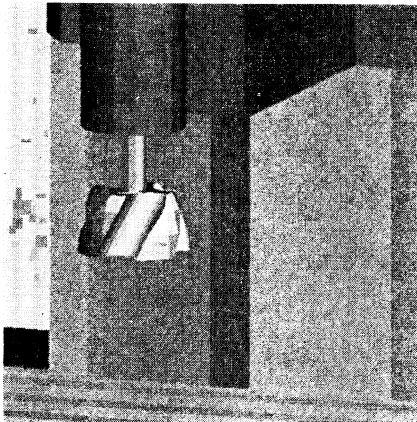
中学や高校の図学で習った透視図はわかりにくいものだが、見慣れれば立体的に見えないことはない。図3(a)に例を一つ示すが、点を直線で結んだだけのもので、針金細工に似ているのでワイヤフレーム表示と呼ばれている。三次元の点を二次元平面に写像し、それらの点を直線で結べばよく、表示処理がきわめて簡単のため



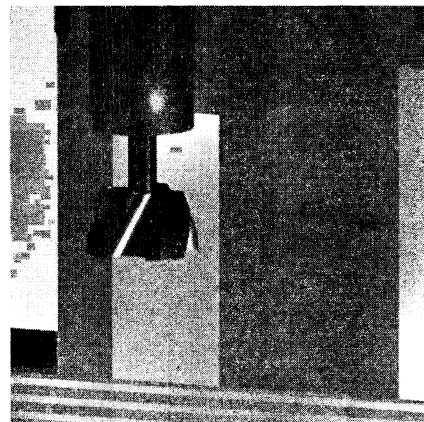
(a) ワイヤフレーム



(b) 陰線消去



(c) シェーディング



(d) スムーズシェーディング

図3 立体表示技法<sup>6)</sup>

多く利用されている．図1(d)もワイヤフレーム表示といえる．

### 3.1.2 陰線消去表示

立体が立体であるという特徴的な現象は，裏が見えないという事実である．図3(a)では裏が見えているが，本当の立体では裏が見えるはずはない．したがって，これを同図(b)のように，裏を表示しないようにするとより立体感が増して見える．これを陰線消去と呼ぶ．陰線消去の手法については数多く提案されているが，それについては文献1)を参照されたい．

### 3.1.3 シェーディング表示

美術の時間のデッサンを思い浮かべていただくと，表面が同じ白さの石膏像でも，凹凸により陰影が付いたりグラデーションがかかったりする．さらに，照明の方向や照明器具の種類によっても微妙に変わる．これらを丁寧にデッサンしなくてはならなかった．この微妙な陰影をコンピュータグラフィクスで再現することができれば，より立体のリアルさが増す．図3(c)はそのような表示を試みたもので，シェーディング表示と呼ぶ．陰影を立体表面の傾きによって加減し，光源方向の面は明るく，斜めの面は暗くと変化させる．これによってよりいっそう立体感を得ることができる．

立体表面の三次元法線方向，表面反射特性，光源方向等により，その表面での明暗が決定される．ひとつの三次元上の平面は一定の明度で塗りつぶされることになる．しかし曲面を表示する場合，多数の平面の集合で近似するので，人間の目のマッハバンド効果により平面と平面との境界が非常に浮き上がって見えてしまい，不自然になる．この時，隣接する平面との間で明暗の値を内挿することにより不自然さを減少させることができる．これをスムーズシェーディングと呼び，CAD/CAMの分野では最近必須の条件になってきた．図3(d)にスムーズシェーディングを施したものを示すが，曲面が非常にリアルになっていることがわかる．

以上に紹介したワイヤフレーム表示，陰線消去表示，シェーディング表示，スムーズシェーディング表示は，その順番に処理に必要な計算量が幾何級数的に増大する．したがって，どの表示技法を用いるかは，使用目的と使用するコンピュータの能力とのかねあいとなる．

## 3.2 濃淡・色の付け方

画像の濃淡は前節のように陰影付けにしたがって決定されるが，色付けのほうはユーザーの趣味に任される部分が多い．どのような色をどのように割り当てるかはまったく自由だが，通常は，表示するデータの特徴，種

類，ラベルに応じて色分けし，出力画像をわかりやすくさせる．たとえば分子モデルの立体表示などでは，水素は赤，酸素は青といったぐあいに色分けをすると，分子構造を簡単に理解することができる．

さらにデータの強弱高低によって，青から赤へと虹のように，連続して色付けすることもでき，この場合は色によって概略的な分布を示すことができる．これは疑似カラー表示といわれ，スカラ量を非常にわかりやすく表現できる．前に述べた三次元有限要素解析の結果表示に関しては強力な表現手法といえる．

## 4. コンピュータグラフィクスで初めて可能になった表現技法

### 4.1 任意の視点

コンピュータグラフィクスでは任意の場所に視点を置くことが可能である．表からでも裏からでも，さらに内部からでも立体を見ることができる．したがって，データの最も強調したいところがいちばんアピールできるように視点の位置を変えて表示できるので，非常に説得力のある資料が得られる．

### 4.2 アニメーション

ひとつのデータに対し，視点の位置をわずかに変えた生成画像を，図4のように数多くつなぎ合わせると，アニメーションが作れる．これは，筑波の科学博で一世を風びしたのでおわかりのように，立体の全体像を表現できるいちばん有効な方法と思われる．逆に視点の位置を固定して，時系列的なデータの生成画像を集めてアニメーション化すれば，データの変化してゆく状態が手に取るように理解できる．

残念ながら，1枚の画像を生成するのでさえ計算量が膨大なため，コマ数が何百何千というアニメーションで

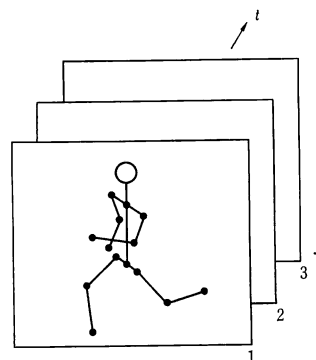


図4 アニメーション

は膨大な計算時間が必要となる。このため手軽に実現できるというものではないが、ワイヤフレーム表示でよければパソコンでも表示可能である。

## 5. おわりに

コンピュータグラフィクス自身が研究対象でなく、たんに自分の研究結果の表示に用いたいという人のために、コンピュータグラフィクスで扱えるデータの形、現在利用できる立体表現技法を中心に紹介した。画像の生成の原理については文献2)を参考にさせていただきたい。

最近、対話型の二次元図形の作図プログラムは使い勝手のよいものがパソコンでも利用できる。たとえば「花子」、「Mac Paint」などがある。しかし、立体表示のできるコンピュータグラフィクスプログラムはまだそれほど一般的ではない。プログラムがコンピュータグラフィクスの専門家向けに書かれていること、また強力な計算機

が必要であるという両方の意味で、誰でも簡単に使えるという段階ではない。しかし、近い将来一般ユーザー向けの使い勝手の良いプログラムが安く提供されるのは確実であり、また高機能のワークステーションも普及してきたので、コンピュータグラフィクスによる立体表示が、数多くの分野でより一般的に利用されることが期待できる。

## 文 献

- 1) 山口富士夫: CAD/CAM 入門(工業調査会, 東京, 1982).
- 2) 山本 強: パソコンによる三次元グラフィクスの実際(CQ 出版社, 東京, 1983).
- 3) PIXEL, 7月号(図形処理情報センター, 1986).
- 4) PIXEL, 10月号(図形処理情報センター, 1986).
- 5) PIXEL, 6月号(図形処理情報センター, 1987).
- 6) 別冊サイエンス コンピュータ・ソフトウェア(日経サイエンス, 東京, 1985).